

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

TAINÁ DA SILVA DIAS DOS SANTOS

**OS CHAMADOS DE BALEIA-FRANCA-AUSTRAL (*EUBALAENA AUSTRALIS*)
SÃO INDIVIDUALMENTE DISTINTOS?**

Alfenas/MG

2023

TAINÁ DA SILVA DIAS DOS SANTOS

**OS CHAMADOS DE BALEIA-FRANCA-AUSTRAL (*EUBALAENA AUSTRALIS*)
SÃO INDIVIDUALMENTE DISTINTOS?**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Diversidade Biológica e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Grassetto
Teixeira da Cunha
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Ferreira
Monticelli

Alfenas/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Santos, Tainá da Silva Dias dos.

Os chamados de baleia-franca-austral (*Eubalaena australis*) são individualmente distintos? / Tainá da Silva Dias dos Santos. - Alfenas, MG, 2022.

47 f. : il. -

Orientador(a): Rogério Grassetto Teixeira da Cunha.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Bioacústica. 2. Baleia-franca-austral. 3. Individualidade. I. Cunha, Rogério Grassetto Teixeira da, orient. II. Título.

TAINÁ DA SILVA DIAS DOS SANTOS

“Os chamados de baleia-franca-austral (*Eubalaena australis*) são individualmente distintos?”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 09 de dezembro de 2022.

Prof. Dr. Rogério Grassetto Teixeira da Cunha
Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)

Prof. Dr. Vinícius Xavier da Silva
Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)

Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior
Instituição: InUmeå University, Umeå, Sweden



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Grassetto Teixeira da Cunha, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2022, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinícius Xavier da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 13/12/2022, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mario Manoel Rollo Junior, Usuário Externo**, em 10/12/2022, às 08:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifalmg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0880892** e o código CRC **BC7899A5**.

Esta dissertação é dedicada a toda a minha família, amigos e as baleias-franca.

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo principalmente a Deus por me acompanhar e guiar.

Aos meus pais, Mário e Rose, que sempre me apoiaram e fizeram de tudo para que este trabalho fosse realizado. Agradeço a minha irmã, Naiara, meus avós, meu namorado e minha família toda.

A todos os meus amigos de Alfenas, que me apoiaram e fizeram a rotina mais fácil, principalmente Ana Clara, que me ajudou em todos os momentos, desde o processo seletivo do mestrado até o final dele, e Ana Souza, que me deu toda a ajuda com o software Raven e sempre esteve presente. Obrigada, amigas.

Ao professor Dr. Rogério, por toda a paciência e ensinamentos desde a graduação até o mestrado. Obrigada por me apresentar a bioacústica, comportamento animal e me permitir continuar trabalhando com as baleias. Toda a minha admiração pelo excelente profissional, professor e pessoa que é.

A Júlia Dombroski, por me ajudar desde o início do mestrado me fornecendo os dados necessários para análise, por ser me conectar com pessoas incríveis, pela oportunidade de realizar trabalhos de campo em Santa Caratina com as baleias-franca e por muitas vezes me orientar informalmente.

A Syracuse University pela parceria e apoio com o fornecimento formal de dados coletados previamente a esta pesquisa e a todos os envolvidos com a coleta de dados acústicos de baleia-franca que foram utilizados neste trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade e suporte para a realização deste trabalho.

A UNIFAL-MG e todos os professores que me transmitiram conhecimentos.

A FAPEMIG pelo suporte financeiro para esta dissertação.

Esse estudo teve o apoio da Marine Mammal Commission sob o financiamento N^o MMC17-230. Apoio adicional foi provido pela Cetacean Society International e VIVA Baleias, golfinhos e cia.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

RESUMO

A bioacústica estuda a produção de sons por animais. Para compreender a comunicação entre eles, é preciso ter entendimento acerca das propriedades do som, como ele é produzido, como é dada a propagação em diferentes ambientes, a biologia da espécie e os sons produzidos por elas. Uma característica que pode estar presente em emissões sonoras de algumas espécies é a individualidade. A individualidade está associada a diversos benefícios na comunicação, desde que ela seja percebida pelo receptor específico do chamado. A individualidade está presente quando há maior variação em características das emissões entre os indivíduos que dentro dos indivíduos. Esta variação pode ocorrer em características temporais e/ou estruturais. Além disso, pode ocorrer por meio da presença de fenômenos não lineares. Neste trabalho, utilizamos como objeto de estudo a baleia-franca-austral, *Eubalaena australis*, espécie de cetáceo que ocorre no Hemisfério Sul do globo terrestre, para testar a hipótese de que há individualidade em seus chamados e observar se há alguma relação entre a individualidade e fenômenos não lineares em suas vocalizações, uma vez que só há esse tipo de estudo em uma das três espécies do gênero - *Eubalaena glacialis*.

Palavras-chave: Bioacústica; baleia-franca-austral; individualidade.

ABSTRACT

Bioacoustics studies the production of sounds by animals. To understand the communication between them, it is necessary to understand the properties of sound, how it is produced, how it propagates in different environments, the biology of the species and the sounds produced by them. A characteristic that can be present in sound emissions of some species is individuality. Individuality is associated with several benefits in communication, as long as it is perceived by the specific receiver of the call. Individuality is present when there is greater variation in emission characteristics between individuals than within individuals. This variation may occur in temporal and/or structural characteristics. In addition, it can occur through the presence of nonlinear phenomena. In this work, we used as object of study the southern right whale, *Eubalaena australis*, a species of cetacean that occurs in the Southern Hemisphere of the globe, to test the hypothesis that there is individuality in their calls and to observe if there is any relationship between the individuality and nonlinear phenomena in their vocalizations, since there is only this type of study in one of the three species of the genus - *Eubalaena glacialis*.

Keywords: Bioacoustics; southern-right-whale; individuality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1	COMUNICAÇÃO NO MEIO AQUÁTICO	9
2.2	INDIVIDUALIDADE	10
2.3	FENÔMENOS NÃO LINEARES (FNL)	13
2.4	GÊNERO <i>EUBALAENA</i>	17
2.5	<i>EUBALAENA AUSTRALIS</i>	18
	REFERÊNCIAS – REVISÃO DE LITERATURA	21
3	ARE SHOUTHERN-RIGHT-WHALES (<i>EUBALAENA AUSTRALIS</i>) CALLS INDIVIDUALILY DISTINCT?	29
4	CONCLUSÃO GERAL.....	47

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi dividida em 2 capítulos, sendo o primeiro de revisão bibliográfica acerca dos principais assuntos abordados na dissertação: (1) comunicação no meio aquático; (2) individualidade; (3) fenômenos não lineares (FNL); (4) Gênero *Eubalaena* e (5) *Eubalaena australis*. No segundo capítulo encontra-se o artigo produzido, intitulado “Individuality and nonlinear phenomena in southern-right-whale (*Eubalaena australis*) calls”, escrito conforme as normas do periódico a que será submetido: Marine Mammal Science.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMUNICAÇÃO NO MEIO AQUÁTICO

O som viaja extremamente rápido no meio aquático (PETTITT; BOURNE; BEE, 2013). Apesar disso, a comunicação acústica no meio marinho tem desafios (PREISIG, 2006). Os sinais ópticos, por sua vez, são rapidamente absorvidos no mar e há o espelhamento de partículas suspensas na coluna d'água, fazendo com que a comunicação visual seja mais desfavorecida na água e a comunicação acústica a principal forma de comunicação em ambientes aquáticos (PREISIG, 2006).

O som é o estímulo sensorial que permite uma melhor transmissão de informações de longo alcance no ambiente aquático (ROGERS; COX, 1988). A velocidade do som na água é de 1.500 m/s (metros por segundo), sendo cerca de 3% maior na água do mar do que na água doce, devido à temperatura, salinidade e profundidade, e quase 5 vezes maior do que no ar (BASS; CLARK, 2006; ROGERS; COX, 1988; DING; LIU, 2021). Porém, a despeito da velocidade, na água do mar, o som pode passar por transformações que alteram suas características, tais como a absorção, reflexão, refração e espalhamento (ROGERS; COX, 1988; LARSEN; RADFORD, 2018):

- Absorção: há transformação de energia acústica em outro tipo de energia (BASS; CLARK, 2006). Embora seja baixa na água (ROGERS; COX, 1988), ela altera o espectro de frequência da propagação do som, sendo diretamente proporcional à distância da propagação (LARSEN; RADFORD, 2018).
- Reflexão: a onda sonora atinge determinada superfície e volta a se propagar no meio onde foi originada, mantendo a velocidade, frequência e comprimento de onda iguais aos da onda incidente (DA SILVA; SANTOS, 2018). Logo, acontece quando a onda sonora encontra uma resistência ao seu fluxo (BASS; CLARK, 2006), podendo ser o fundo do mar, a superfície ou ambos. A reflexão pode alterar algumas propriedades do som, podendo dar falsas informações sobre a localização da fonte sonora do sinal (ROGERS; COX, 1988).
- Refração: a onda muda de um meio de propagação para outro e a velocidade de propagação da onda é alterada, pois a mudança de meio

gera mudança no comprimento de onda (BASS; CLARK, 2003; DA SILVA; SANTOS, 2018). Quando o som é transmitido entre a interface de dois meios com diferentes velocidades ou devido à presença de um gradiente de velocidade do som, o gradiente de velocidade do som dobra o som na direção da velocidade mais baixa, assim, o som viaja ao longo de uma trajetória curva, em vez de uma linha reta (ROGERS; COX, 1988).

- Espalhamento: é a redução na intensidade da propagação de uma onda sonora em um campo livre sem limites, onde o ambiente é homogêneo e a distância na qual o som está se espalhando é grande em comparação com a fonte (BASS; CLARK, 2006).

Além dessas transformações, podem-se encontrar outras influências negativas na propagação e recepção dos sinais acústicos no ambiente aquático, como o efeito de ruídos e profundidade da água. Os ruídos interferem na maneira como o sinal acústico chega ao receptor, alterando-o e fazendo com que o sinal seja difícil ou impossível de ser compreendido pelo receptor (LARSEN; RADFORD, 2018). Eles podem ser causados por fontes bióticas, abióticas ou antropogênicas (LARSEN; RADFORD, 2018), como, por exemplo, sons da chuva, bolhas, ondas, vento e ruídos de navios (PREISIG, 2006).

Em relação à profundidade da água, a superfície e o fundo servem como limitantes reflexivos que interagem com a onda sonora. Em águas rasas, a transmissão de som é altamente influenciada pelas condições locais de profundidade, rugosidade da superfície (vento-dependente) e composição do substrato de fundo (BASS; CLARK, 2003; LARSEN; RADFORD, 2018). Já em águas profundas, há perda por espalhamento e a maior parte da energia sonora se propaga em canais de som profundo. Nesses canais, o som não passa por reflexão, mas sim por refração que combinada com baixos níveis de absorção faz com que o som tenha baixa perda de transmissão e atinja longas distâncias (BASS; CLARK, 2006).

2.2 INDIVIDUALIDADE

Segundo Aubin e colaboradores (2007), a individualidade se caracteriza quando o indivíduo de uma espécie emite sinais acústicos com características únicas, que permitem ao receptor distinguir os seus chamados uns dos outros. Para haver o reconhecimento individual, o sinal precisa ter alta variação entre indivíduos e

baixa variação intra-individual (TERRY; PEAKE; MCGREGOR, 2005), consistência vocal dentro e entre as estações (CHOI; LEE; SUNG, 2019) e o receptor precisa perceber tais variações. A individualidade decorre da combinação de fatores genéticos, ambientais e de desenvolvimento (MCGREGOR, 1993).

A habilidade de distinguir de onde e de quem vem determinado chamado possibilita que os coespecíficos possam responder de forma apropriada a determinado contexto comportamental (PETTITT; BOURNE; BEE, 2013). Isso pode ser visto em ocasiões na qual os indivíduos perdem o contato visual um com o outro (SOUSA-LIMA; PAGLIA; DA FONSECA, 2002), quando é necessário fazer o reconhecimento entre mãe e filhote ou localizar um parceiro em zonas barulhentas de reprodução (AUBIN, *et al.*, 2007). A individualidade pode ser adaptativa em diversos contextos, por exemplo, para a seleção sexual, para influenciar na competição de machos na escolha pela fêmea (McCOMB, 1991) e também para diferenciar entre indivíduos residentes de uma mesma área (vizinhos) e invasores (GOSLING, 1982). Desta maneira, os chamados individuais podem ajudar a lidar com os desafios vividos pelos animais em ambientes sociais (MUMM; URRUTIA; KNORNSCH, 2014).

O reconhecimento individual pode ajudar na escolha do comportamento a ser dirigido a outro indivíduo. Isso ocorre, pois, emissões sonoras com individualidade permitem que o emissor mostre sua identidade quando necessário e permite que haja resposta do receptor de acordo com a confiabilidade do emissor (POLLARD, 2009). Há certas circunstâncias nas quais o emissor reforça sua identificação quando isso lhe traz benefício, por exemplo, em situações que ele precisa acusar o uso de um território próprio ou atrair um parceiro sexual e expulsar competidores com base em sua identidade (TIBBETTS; DALE, 2007; MEDVIN; STODDARD; BEECHER, 1993; KARAVANICH; ATEMA, 1998). Em outros casos, a identificação individual pode ser prejudicial quando aponta trapaças condenáveis pelo grupo social (TIBBETTS; DALE, 2007).

Os benefícios para o receptor incluem modular sua resposta comportamental quando reconhece o emissor, seja adquirindo comportamentos agressivos, de cooperação, interação social, cuidado parental, entre outros, de acordo com o contexto (GOSLING, 1982; TIBBETTS; DALE, 2007; POLLARD, 2009). Um exemplo disso é visto no contexto de defesa de território em *Wilsonia citrina*, em que foi observado que as aves ignoravam os chamados de *playback* de vizinhos

conhecidos, porém respondem agressivamente a vocalizações de indivíduos desconhecidos (GODARD, 1991), ou seja, a espécie modulou seu comportamento de acordo com a identidade do emissor.

A individualidade é amplamente estudada em chamados de contato, que são vocalizações que servem para aproximar indivíduos. Estão presentes em diversas espécies, independente das estruturas sociais, podendo fornecer diversas informações, inclusive sobre o emissor (KONDO, 2009). O chamado de contato pode ter papel na coesão de indivíduos em grupos, reconhecimento de parceiros sexuais (KONDO, 2009), encontro de parceiro em locais barulhentos (AUBIN, *et al.*, 2007) e coordenação de movimentos em grupos (MARLER, 2004), além de ser útil em situações, as quais, necessita-se manter contato com um coespecífico (SOUSA-LIMA; PAGLIA; DA FONSECA, 2002). A individualidade em chamados de contato já foi vista em aves terrestres (WANKER; FISCHER, 2001), aves marinhas (pinguins) (FAVARO, *et al.*, 2016), lêmures (MACEDONIA, 1986), primatas (JORDAN, *et al.*, 2004; KODA; SHIMOOKA; SUGIURA, 2008), lobos marinhos (PHILLIPS; STIRLING, 2000), cetáceos (McCORDIC, *et al.*, 2015) e outros.

Embora seja comum a utilização de chamados de contato para a análise de individualidade, há outros tipos de vocalizações que podem ser investigadas. Por exemplo, estudos já encontraram individualidade em chamados de alarme. São as vocalizações utilizadas em situações de ameaça potencial, possivelmente para alertar sobre sua presença (MATROSOVA; VOLODIN; VOLODINA, *et al.*, 2009) ou comunicar o tipo de predador e determinar a estratégia comportamental a ser utilizada (SEYFARTH; CHENEY; MARLER, 1980). Para os indivíduos receptores de chamados de alarme é importante reconhecer o emissor a fim de distinguir entre chamados confiáveis e não confiáveis em situações de alerta, de acordo com a confiabilidade do emissor (MATROSOVA; VOLODIN; VOLODINA, 2009) fazendo com que o receptor não perca energia atendendo a um chamado falso (POLLARD; 2009).

Pesquisas de individualidade em chamados de alarme já foram feitas em roedores (McCOWAN; HOPPER, 2002), esquilos (MATROSOVA; VOLODIN; VOLODINA, 2009), cães-da-pradaria (SLOBODCHIKOFF, *et al.*, 1991), marmotas (NIKOLSKII; SUCHANOVA, 1994) e primatas (PATEL; OWREN, 2012). Em relação aos mamíferos marinhos, a individualidade já foi reportada em pinípedes e cetáceos (McCORDIC, *et al.*, 2016) como golfinho-nariz-de-garrafa (SAYIGH, *et al.*, 2007),

baleia-jubarte (HAFNER, *et al.*, 1979), orca (NOUSEK, *et al.*, 2006; KREMERS, *et al.*, 2012), cachalote (ANTUNES, *et al.*, 2011) e baleia-franca-do-norte (McCORDIC, *et al.*, 2016). O assobio de assinatura dos golfinhos-nariz-de-garrafa é bastante conhecido por apresentar diferenças claras nos contornos de frequência fundamental entre os indivíduos (JANIK; SAYING, 2013).

Muitos dos estudos citados apresentam resultados que indicam a presença de individualidade nas emissões sonoras de espécies e param aí. Para validar a importância biológica da individualidade e seu valor adaptativo para os animais, é necessário comprovar que outros indivíduos conseguem identificar a quem pertence os chamados. Isso pode ser feito através de estudos com *playback*, a fim de observar as respostas dos receptores e ver se há variação na resposta comportamental de acordo com a identidade do emissor (TIBBETTS; DALE, 2007).

2.3 FENÔMENOS NÃO LINEARES (FNL)

Fenômenos não lineares (FNL) podem ser detectados em espectrogramas de vocalizações quando há perturbação ou assincronia na vibração das cordas vocais (ou outras estruturas produtoras de som). O resultado são vocalizações complexas e imprevisíveis, provindas de transições rápidas, abruptas e de comandos neurais simples (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Durante as análises sonográficas de vocalizações animais, poucos são os pesquisadores que descrevem ou medem os FNL, talvez devido à dificuldade de identificação e de suas causas (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002; MACIEL, 2016). Ao ignorar a presença de tais fenômenos, pode-se perder informações que enriquecem o repertório acústico da espécie, através da diversificação e refinamento de sinais acústicos já existentes ou pelo estabelecimento de novos sons (WILDEN, *et al.*, 1998).

Os FNL estão comumente presentes em algumas categorias de chamados, como gritos (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002), choro infantil de humanos (ROBB; SAXMAN, 1988) e em sons de humanos adultos com distúrbios do aparelho fonador (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Essas características nas vocalizações podem ter a função de atrair a atenção de outro indivíduo, transmitir urgência no chamado, sinalizar estados de aversão (ANIKIN, PISANSKI; REBY, 2020), dar indícios da aptidão do emissor da chamada (WILDEN, *et al.*, 1998; FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002; RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004), fornecer pistas sobre determinadas circunstâncias comportamentais (RIEDE; OWREN;

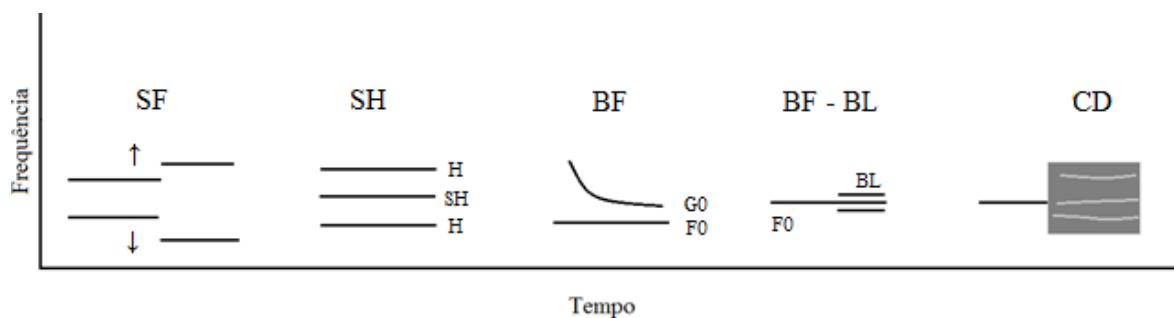
ARCADI, 2004) e sobre o estado emocional do emissor (ANIKIN, PISANSKI; REBY, 2020). Os FNL também podem contribuir para a individualidade nos chamados de determinadas espécies de mamíferos sociais, como em orcas (FILATOVA, *et al.*, 2012) e golfinhos-nariz-de-garrafa (PAPALE, *et al.*, 2015).

Existem 4 tipos de FNL que podem ser vistos em espectrogramas das vocalizações, sendo eles bifonação, salto de frequência, sub-harmônicos e caos determinístico (Figura 1):

- **Bifonação:** pode ser identificada, no espectrograma, pela ocorrência simultânea de duas frequências fundamentais independentes (por exemplo, F0 e G0) em uma mesma unidade sonora, cada uma com a sua estrutura harmônica e contorno (BROWN, *et al.*, 2003; VOLODINA, *et al.*, 2006). Sendo ondas sonoras, F0 e G0 podem afetar-se mutuamente gerando no espectrograma ondas resultantes dessa interação. Neste caso, no espectrograma elas são vistas como bandas laterais acima e abaixo das fundamentais (RIEDE, *et al.*, 2000). A bifonação em bandas laterais (em inglês, sidebands) será tratada como uma categoria de FNL à parte nesta dissertação.
- **Salto de frequência:** mudança repentina da posição de F0 (frequência fundamental) no espectrograma, nas quais a frequência “desce” ou “sobe” de maneira abrupta e descontínua (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004), oriunda da oscilação imprevisível das pregas vocais ou de assincronia entre os músculos que as controlam (BROWN, *et al.*, 2003).
- **Sub-harmônico:** são componentes espectrais adicionais que aparecem repentinamente em valores fracionados inteiros de uma frequência fundamental (por exemplo, F0/2 ou F0/3) cada uma com seus harmônicos (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004). Ao contrário das bandas laterais, os sub-harmônicos não aparecem aos pares ladeando determinada frequência. Pode ocorrer quando há mais tensão em uma corda vocal do que na outra (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002; TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007). Também se diferenciam das bandas laterais, nas quais não há relação harmônica e pela presença usual de uma estrutura harmonicamente muito “rica” e com múltiplas faixas;
- **Caos determinístico:** são episódios de ruídos não aleatórios. É um ruído caótico e possível de ser distinguido de ruídos advindos de outras fontes

sonoras (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004). É possível ver energia periódica residual, que aparece como bandas mais fracas no espectrograma em trecho que no geral não possui estrutura espectral, e permite que o caos seja distinguido de ruídos turbulentos (FITCH; NEUBAUER; HERZEL, 2002). Pode ser encontrado em “gritos de agonia”, como os de macaco rhesus (GOUZOULES; GOUZOULES; MARLER, 1984) e em outros primatas não-humanos (WINTER, 1968).

Figura 1 - Esquema de espectrograma com os tipos de fenômenos não lineares.



Fonte: Adaptado de Maciel (2016), original de Riede; Owren; Arcadi (2004).

Legenda: Salto de frequência (SF) para frequência mais alta e mais baixa; Sub-harmônico (SH) e Harmônicos (H); Bifonação (BF) com 2 frequências fundamentais (F0 e G0); Bifonação - banda lateral (BF - BL) e frequência fundamental (F0); e Caos determinístico (CD).

FNL já foram reportados em insetos (BENKO; PERC, 2007; EDOH; HUGHES; KATZ, 2013) e vertebrados, em todos os grandes grupos (Tabela 1): peixes (RICE; LAND; BASS, 2011), anfíbios (FENG *et al.*, 2009; PETTITT; BOURNE; BEE, 2012), répteis (BENKO; PERC, 2009; LABRA, *et al.*, 2013), aves (BECKERS; CATE, 2006; DIGBY; BELL; TEAL, 2014), mamíferos terrestres, como suricatos (TOWNSEND; MANSER, 2010), gatos (MAGIERA; PENAR; KLOCEK, 2020), cães (VOLODINA *et al.*, 2006), veados (FACCHINI, *et al.*, 2003), primatas não-humanos (RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004, 2007), primatas humanos (SIRVIÖ; MICHELSSON, 1976; ROBB; SAXMAN, 1988), e mamíferos aquáticos. Mais especificamente sobre estes, FNL foram encontrados em sons de baleias-franca-do-norte (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007), orcas (TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007; BROWN, 2008; FILATOVA, *et al.*, 2009), golfinhos-nariz-de-garrafa (PAPALE, *et al.*, 2015; SPORTELLI; JONES; RIDGWAY, 2022), baleias-piloto-de-aleta-longa (NEMIROFF;

WHITEHEAD, 2009), baleias-jubarte (MERCADO, *et al.*, 2010), focas antárticas (MACIEL, 2016) e peixes-boi (MANN; O'SHEA; NOWACEK, 2006) (Tabela 1).

Tabela 1 – Tabela de revisão de trabalhos feitos com Fenômenos Não Lineares (FNL) em diferentes animais e com contextos de emissão e de tipos de chamados diferentes.

Animal	Classe	Espécie	FNL encontrado	Contexto da emissão ou tipo de chamado	
Invertebrado	Artropoda	<i>Neoconocephalus robustus</i> (1)	CD	Atividade de canto	
		<i>Cicadoidea</i> (2)	CD	Sinais acústicos de machos	
Vertebrado	Peixe	<i>Batrachomoeus trispinosus</i> (3)	CD, SH, SF, BF	Grunidos agonísticos e chamados de anúncio	
	Anfíbio	<i>Odorrana tormota</i> (4)	CD, SH, SF, BF	Chamados de anúncio do macho	
		<i>Anomaloglossus beebei</i> (5)	CD, SH, SF	Cantos de corte e agressão do macho	
	Réptil	<i>Liolaemus chiliensis</i> (6)	CD, SH, SF	Chamados de perigo	
		<i>Crocodylus acutus</i> (7)	CD	Canto de acasalaento	
	Ave	<i>Streptopelia</i> (8)	CD, SH, SF, BF	Não especificado	
		<i>Apteryx owenii</i> (9)	CD, SH, BF	Cantos em contextos territoriais	
	Mamífero terrestre	<i>Suricata suricatta</i> (10)	SH	Chamados de alarme	
		<i>Felis catus</i> e <i>Felis silvestris catus</i> (11)	CD, SH, SF, BF	Chamados para alimentação e de isolamento	
		<i>Cuon alpinus</i> (12)	BF	Não especificado	
		<i>Cervus elaphus corsicanus</i> (13)	CD	Chamados de machos	
		<i>Pan troglodytes</i> (14 e 15)	CD, SH, SF, BF	Chamados de climax	
		<i>Homo sapiens</i> (16 e 17)	CD, SH, SF, BF	Vocalizações de crianças com choro (16) e sem (17)	
		Mamífero marinho	<i>Eubalaena glacialis</i> (18)	CD, SH, SF, BF	Não especificado
			<i>Orcinus orca</i> (18, 19 e 20)	CD, SH, SF, BF	Não especificado (18) / Chamados pulsados (19) / chamados mono e bifônicos (20)
<i>Tursiops truncatus</i> (21)			BF	Assobios	
<i>Globicephala melas</i> (22)			BF	Chamados pulsados	
<i>Megaptera novaeangliae</i> (23)	SF		Não especificado		
		Tribo Lobodontini (24)	CD, SH, SF, BF	Chamados tipo A, C, E, F, K, L, M, N e O	
		<i>Trichechus</i> (25)	CD, SH, SF, BF	Não especificado	

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Legenda: CD- Caos Determinístico; SH - Subharmônicos; SF - Saltos de Frequência; BF - Bifonação.

Referências utilizadas na tabela: (1) BENKO; PERC, 2007; (2) EDOH; HUGHES; KATZ, 2013; (3) RICE; LAND; BASS, 2011; (4) FENG, *et al.*, 2009; (5) PETTITT; BOURNE; BEE, 2012; (6) LABRA, *et al.*, 2013; (7) BENKO; PERC, 2009; (8) BECKERS; CATE, 2006; (9) DIGBY.; BELL; TEAL, 2014; (10) TOWNSEND; MANSER, 2010; (11) MAGIERA; PENAR; KLOCEK, 2020; (12) VOLODINA *et al.*, 2006; (13) FACCHINI *et al.*, 2003; (14 e 15) RIEDE; OWREN; ARCADI, 2004, 2007; (16 e 17) SIRVIÖ; MICHELSSON, 1976; ROBB; SAXMAN, 1988; (18) TYSON; NOWACEK; MILLER, 2007; (19) BROWN, 2008; (20) FILATOVA *et al.*, 2009; (21) PAPALE, *et al.*, 2015; (22) NEMIROFF; WHITEHEAD, 2009; (23) MERCADO *et al.*, 2010; (24) MACIEL, 2016; (25) MANN; O'SHEA; NOWACEK, 2006.

2.4 GÊNERO *EUBALAENA*

A baleia-franca-austral, objeto deste estudo, pertence ao gênero *Eubalaena* e à família Balaenidae, a qual compreende 3 espécies viventes isoladas geograficamente (KENNEY, 2009): *Eubalaena australis* (DESMOULINS, 1822), a baleia-franca-austral ou baleia-franca-do-sul, é a espécie do gênero que possui a maior distribuição no planeta, sendo encontrada em todo o Hemisfério Sul (RICE, 1998); *Eubalaena glacialis* (MULLER, 1776), conhecida como baleia-franca-do-norte, é encontrada somente no Atlântico Norte Ocidental; e a *Eubalaena japonica* (LACÉPÈDE, 1818), conhecida como baleia-franca-do-pacífico, está restrita ao Pacífico Norte em dois pequenos estoques populacionais, um no Pacífico Oeste e outro no Leste (ROSENBAUM, *et al.*, 2000).

Este gênero pode ser diferenciado dos outros cetáceos mysticetos pelas seguintes características morfológicas: nadadeiras diferenciadas, principalmente as peitorais trapezoidais, dois orifícios respiratórios bastante separados entre si e calosidades na cabeça (PAYNE, *et al.*, 1983). As nadadeiras das baleias-franca são bastante características: as duas nadadeiras peitorais são curtas e largas e em formato típico de trapézio, enquanto as nadadeiras das outras baleias são longas e triangulares, e a baleia-franca tem a nadadeira caudal larga, pontuda e lisa e a nadadeira dorsal está ausente (CUMMINGS, 1985).

Outra característica exclusiva do gênero *Eubalaena* é a presença de calosidades na cabeça, boca e orifícios respiratórios (PAYNE, *et al.*, 1983). Essas calosidades originam-se de um espaçamento na epiderme e abrigam colônias de anfípodos piolhos-de-baleia (Cyamidae: *Cyamus* spp.) cuja presença dá a cor branca e amarela às calosidades (ROWNTREE, 1996). As calosidades possuem padrões de disposição únicos em cada indivíduo (PAYNE, *et al.*, 1983) e servem como as impressões digitais humanas. Isso é útil para as pesquisas de fotoidentificação, pois auxilia na distinção de cada baleia dentro dos grupos (GROCH, 2005). Esse tipo de pesquisa é necessário devido ao status de conservação das baleias deste gênero que estão ameaçadas de extinção em menor ou maior grau, dependendo da espécie.

As três espécies de *Eubalaena* apresentam o mesmo histórico de terem sido extensivamente caçadas durante décadas nos mares onde habitavam, até quase a completa extinção (KENNEY, 2009). As espécies do gênero eram muito visadas para

a caça por seu comportamento costeiro, calmo e curioso, o que facilitava a logística do ato (KENNEY, 2009). Além disso, a baleia é uma fonte rica em óleo, o qual era usada na construção civil, matéria-prima da argamassa e iluminação pública, e suas barbatanas eram usadas na fabricação de adornos, como cintos e espartilhos (MEDEIROS, 2007). Adicionalmente, a carne servia como alimento para escravos (JÚNIOR, 2015).

Na década de 1930, todas as espécies de baleia-franca se tornaram protegidas da caça comercial pela primeira Convenção Internacional de Regulamentação da Caça de Baleias (KENNEY, 2009). Porém, têm-se registros de caça ilegal após esse período, inclusive na costa do Brasil, até meados dos anos 1950 (TORMOSOV, *et al.*, 1998; KENNEY, 2009).

2.5 *EUBALAENA AUSTRALIS*

Eubalaena australis (DESMOULINS, 1822) é a espécie mais tropical dentre as três, possuindo diferentes populações ao longo do Hemisfério Sul. Elas podem apresentar pequenas diferenciações de morfologia (KRAUS, *et al.*, 1986) e grande variabilidade genética, identificadas a partir de estudos e análises de DNAm (SCHAEFF, *et al.*, 1991). É a mais cosmopolita entre as três e ocorre em todo o hemisfério Sul, entre a Austrália, Nova Zelândia, América do Sul, Continente Africano e na maioria das ilhas entre as latitudes de 30 e 60° S (BELGRANO, *et al.*, 2008). A espécie migra sazonalmente entre as áreas de alimentação, de alta latitude, até as áreas de berçário, em latitude mais baixa (BEST, 2000; RENAULT-BRAGA, *et al.*, 2018). No verão, a espécie permanece concentrada nas áreas mais próximas dos polos para se alimentar e ganhar energia para migrar para as áreas de reprodução no inverno, procurando águas mais quentes a fim de acasalar e procriar (RENAULT-BRAGA, 2014).

A espécie não costuma ser vista em grandes grupos sociais nas áreas de alimentação e reprodução (PAYNE, 1986; PATENAUDE; BAKER, 2001). É mais comum encontrar animais solitários ou em grupos de 2 indivíduos, sendo que podem haver várias duplas espalhadas em pequenos territórios (PATENAUDE; BAKER, 2001). Quando em grupos, podem ser compostos por pares de mãe-filhote ou indivíduos adultos e animais solitários (PAYNE, 1986). É relatada a interação entre grupos de baleias-franca, principalmente em áreas de reprodução, porém, raramente são vistas interações sociais entre pares de mãe-filhote (PAYNE, 1986).

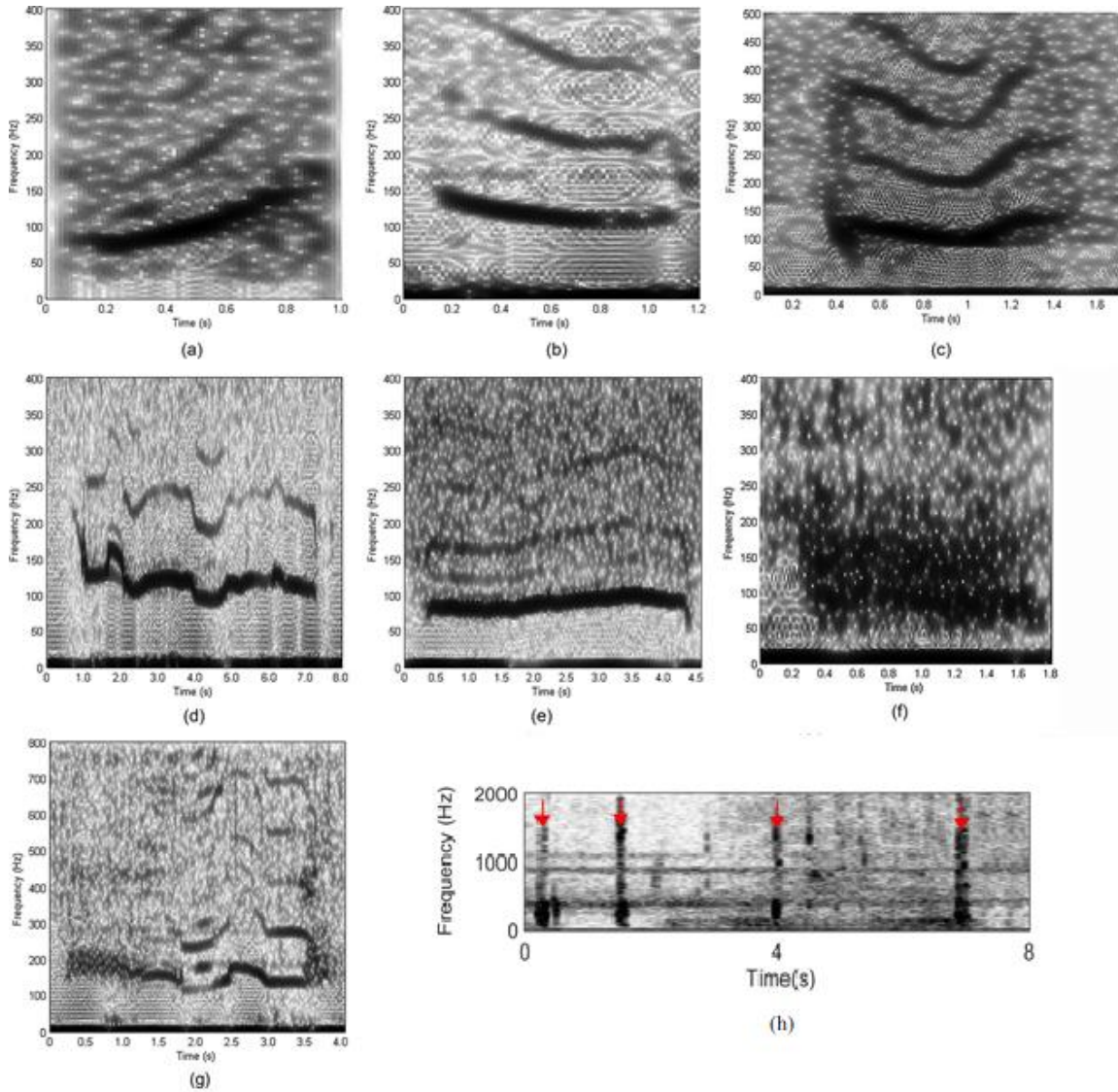
Especificamente no Brasil a espécie ocorre de julho a novembro, com pico de avistamentos no mês de setembro (GROCH, 2005; RENAULT-BRAGA, 2014). O país está localizado em latitude mediana a baixa e é uma importante área de procriação. Estudos mostram que as baleias-franca que frequentam o Brasil também podem frequentar a Argentina, possibilitando comparação entre os catálogos de fotoidentificação para compreender a distribuição da espécie (RENAULT-BRAGA *et al.*, 2018) e também auxiliar a conservação.

Atualmente, a União Internacional para Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) classifica *E. australis* como uma espécie ameaçada de menor preocupação (IUCN, 2022). É a espécie do gênero que mostrou a melhor taxa de recuperação ao período de extensas caças e continua com a distribuição ao longo de todo o Hemisfério Sul (GROCH, 2005).

Em relação ao repertório acústico da baleia-franca-austral que migra até o Brasil, há 9 tipos de chamados descritos até o momento, sendo eles: *upcall*, *downcall*, *down-upcall*, tonal variável, tonal constante, pulsado, híbrido (CLARK, 1982; DOMBROSKI, *et al.*, 2016) pulso único e pulso duplo (DOMBROSKI; PARKS; FLORES, 2020) (Figura 2). O *upcall* é uma emissão sonora tonal, de baixa amplitude, cuja intensidade aumenta progressivamente conforme o som termina (CLARK, 1982). O *downcall* também é tonal e de baixa amplitude, e, ao contrário do *upcall*, a intensidade do chamado diminui conforme termina (CLARK, 1982). O chamado de *down-upcall* é tonal e tem o formato da onda em formato de “v” (DOMBROSKI, *et al.*, 2016). O chamado tonal variável é um som tonal com contorno e formato variável e modulação de frequência (DOMBROSKI, *et al.*, 2016). O chamado tonal constante, ao contrário do anterior, possui pouca modulação de frequência (DOMBROSKI, *et al.*, 2016). Os chamados pulsados são sons inteiramente pulsados de misturas complexas com modulação de amplitude de ruídos (CLARK, 1982). O chamado híbrido consiste em emissões sonoras contendo componentes pulsados e tonais na mesma vocalização (CLARK, 1982; DOMBROSKI, *et al.*, 2016). E pulso único e duplo são emissões sonoras de baixa amplitude, que aparentemente podem ser utilizados para comunicação de curta distância entre mãe-filhote e comunicação críptica (DOMBROSKI; PARKS; FLORES, 2020), sendo esta última um tipo de comunicação que diminui a detectabilidade dos chamados pelos predadores devido às suas características acústicas (NIELSEN, *et al.*, 2019) de emissões sonoras de baixa amplitude ou ocultação acústica através da

produção de sinais reduzidos (PARKS, *et al.*, 2019).

Figura 2 - Espectrogramas dos tipos de vocalização de *E. australis* gravadas de animais no Brasil.



Fonte: Figuras originais de Dombroski, *et al.*, 2016 e Dombroski; Parks; Flores, 2020.

Legenda: (a) *upcall*; (b) *downcall*; (c) *down-upcall*; (d) tonal variável; (e) tonal constante; (f) pulsado; (g) híbrido; (h) pulso único e pulso duplo indicado pelas setas vermelhas. Espectrogramas de a, b, c, d, e, h calculados com janela 1024 pontos na janela de Hamming e de f e g calculados com 512 pontos na janela de Hamming.

REFERÊNCIAS – REVISÃO DE LITERATURA

- ANIKIN, A.; PISANSKI, K.; REBY, D. Do nonlinear vocal phenomena signal negative valence or high emotion intensity? **R. Soc. Open Sci.** 7: 201306, 2020.
- ANTUNES, R., *et al.* Individually distinctive acoustic features in sperm whale codas. **Anim Behav** 81: 723–730 2011.
- AUBIN, T., *et al.* Acoustic communication in the Kittiwake *Rissa tridactyla*: potential cues for sexual and individual signatures in long calls. **Polar Biology**, v. 30, p. 1027-1033, 2007.
- BASS, A. H.; CLARK, C. W. The Physical Acoustics of Underwater Sound Communication. In: Simmons, A.M., Fay, R.R., Popper, A.N. (eds) Acoustic Communication. **Springer Handbook of Auditory Research**, vol 16. Springer, New York, NY, 2003.
- BECKERS, G. J. L.; CATE, C. T. Nonlinear phenomena and song evolution in *Streptopelia doves*. **Acta Zoologica Sinica**. 52(Supplement), p. 482–485, 2006.
- BELGRANO, J. *et al.* Southwest Atlantic right whales *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822) distribution nearby the Magellan Strait. **Anales del Instituto de la Patagonia**, vol. 36, p. 69-74, 2008.
- BENKO, T. P.; PERC, M. P. Singing of *Neoconocephalus robustus* as an example of deterministic chaos in insects. **Journal of Biosciences**, v. 32, n. 4, p. 797–804, 2007.
- BENKO, T. P.; PERC, M. P. Nonlinearities in mating sounds of American crocodiles. **BioSystems**. v. 97. p. 154–159, 2009.
- BEST, P. B. Coastal distribution, movements and site fidelity of right whales *Eubalaena australis* off South Africa, 1969–1998. **South African Journal of Marine Science**. África do Sul, v. 22, n. 1, p. 43-55, 2000.
- BROWN, C. *et al.* Laryngeal biomechanics and vocal communication in the squirrel monkey (*Saimiri boliviensis*). **J Acoust Soc Am** 113:2114–2126, 2003.
- BROWN, J. C. Mathematics of pulsed vocalizations with application to killer whale biphonation. **The Journal of the Acoustical Society of America** 123, 2875, 2008.
- CHOI, W.; LEE, J-H.; SUNG, H-C. A case study of male tawny owl (*Strix aluco*) vocalizations in South Korea: call feature, individuality, and the potential use for census. **Animal Cells and Systems**, 23:2, 90-96, 2019.
- CLARK, A. W. The acoustic repertoire of the Southern Right Whale, a quantitative analysis. **Animal Behav.**, v. 30, p. 1060-1071, 1982.

CUMMINGS, W. C. Right whales - *Eubalaena glacialis* (Müller, 1776) and *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822). In: S. H. RIDGWAY AND R. HARRISON. **Handbook of Marine Mammals: The Sirenians and Baleen Whales**. London: ed. 1985.

DA SILVA, H.; SANTOS, B. M. **Guia prático didático para o ensino de ondas: atividades lúdicas experimentais**. Mestrado Profissional de Ensino de Física – MNPEF/ Polo 59/ UFAC, 2018.

DIGBY, A.; BELL, B. D.; TEAL, P. D. Non-linear phenomena in little spotted kiwi calls. **Bioacoustics**, v. 23, n. 2, p.113–128, 2014

DING, R.; LIU, S. **Underwater sound propagation for virtual environments**. The Visual Computer, 37(9-11), 2797–2807, 2021.

DOMBROSKI, J. R. G., *et al.* Vocalizations produced by southern right whale (*Eubalaena australis*) mother-calf pairs in a calving ground off Brazil. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol. 140, p. 1850-1857, 2016.

DOMBROSKI, J. R. G.; PARKS, S. E.; FLORES, P. A. C. Animal-borne tags provide insights into the acoustic communication of southern-right-whales (*Eubalaena australis*) on the calving grounds. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 147, EL498, 2020.

EDOH, K.; HUGHES, D.; KATZ, R. Nonlinearity in cicada sound signals. **Journal of Biological Systems**, v. 21, n. 1, p.1350004, 2013.

FACCHINI, A., *et al.* Characterization of chaotic dynamics in the vocalization of *Cervus elaphus corsicanus*. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 114, n. 6, p. 3040–3043, 2003.

FAVARO, L., *et al.* Vocal individuality and species divergence in the contact calls of banded penguins. **Behavioral Processes**: v. 128, p. 83-88, 2016.

FENG, A.S., *et al.* Diversity of the vocal signals of concave-eared torrent frogs (*Odorrana tormota*): evidence for individual signatures. **Ethology**: v. 115, n. 11, p. 1015–1028, 2009.

FILATOVA, O.A., *et al.* Usage of monophonic and biphonic calls by free-ranging resident killer whales (*Orcinus orca*) in Kamchatka, Russian Far East. **Acta Ethologica**, v. 12, p. 37-44, 2009.

FILATOVA, O.A., *et al.* Call diversity in the North Pacific killer whale populations: implications for dialect evolution and population history. **Animal Behavior**, v. 83, n. 3, p. 595–603, 2012.

FITCH, W. T.; NEUBAUER, J.; HERZEL, H. Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production. **Animal Behavior**. v. 63, p. 407-418, 2002.

GODARD, R. Long-term-memory of individual neighbors in a migratory songbird. **Nature**, v. 350, p. 228–229, 1991.

GOSLING, L. M. A reassessment of the function of scent marking in territories. **Z Tierpsychol**, v. 60, p. 89-118, 1982.

GOUZOULES, S.; GOUZOULES, H.; MARLER, P. Rhesus monkey (*Macaca mulatta*) screams: representational signalling in the recruitment of agonistic aid. **Animal Behaviour**, v.32, p. 182–193, 1984.

GROCH, K. R. Biologia populacional e ecologia comportamental da baleia franca austral, *Eubalaena australis* (Desmoulins, 1822), CETACEA, MYSTICETI, no litoral sul do Brasil. **Tese de Doutorado em Biologia Animal**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

HAFNER, G.W., *et al.* Signature information in the song of the humpback whale. **J Acoust Soc Am.**, v. 66, pp. 1-6, 1979.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 15 de Janeiro de 2022.

JANIK, V. M. & SAYING, L. S. Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. **J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol** v. 199, p. 479-489, 2013.

JORDAN, K., *et al.* **Antiphonal responses to loud contact calls produced by *Saguinus oedipus***. International Journal of Primatology, v. 25, p. 465-475, 2004.

JUNIOR, W. C. Histórias conectadas por mares revoltos: uma história da caça de baleias nos Estados Unidos e no Brasil (1750-1850). **Revista de História Comparada**. Programa de Pós-Graduação em História Comparada – UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro. 2015.

KARAVANICH, C.; ATEMA, J. Individual recognition and memory in lobster dominance. **Animal Behaviour**, v. 56, p. 1553-1560, 1998.

KENNEY, R. D. Right Whales *Eubalaena glacialis*, *E. japonica*, and *E. australis*. In. Perryn *et al.*, **Encyclopedia of Marine Mammals**, p. 962-972, 2009.

KODA, H.; SHIMOOKA, Y.; SUGIURA, H. Effects of caller activity and habitat visibility on contact call rate of wild Japanese macaques (*Macaca fuscata*). **American Journal of Primatology**, v.70, p. 1055–1063, 2008.

KONDO, N. Contact calls: Information and social function. **Japanese Psychological Research**. v. 51, nº. 3, p. 197–208, 2009.

KRAUS, S. D., *et al.* The use of photographs to identify individual North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*). **Rep. Int. Whal. Commn.** (Special Issue 10), p. 145-151, 1986.

KREMERS, D., *et al.* Vocal sharing and individual acoustic distinctiveness within a group of captive orcas (*Orcinus orca*). **J Comp Psychol**, v. 126, p. 433–445, 2012.

LABRA, A., *et al.* Acoustic Features of the Weeping Lizard's Distress Call. **Ichthyology & herpetology**, v. 2, p. 206-212, 2013.

LARSEN O. N. & RADFORD, C. **Acoustic Conditions Affecting Sound Communication in Air and Underwater.** In. Effects of Anthropogenic Noise on Animals. Acoustic Conditions Affecting Sound Communication in Air and Underwater, v. 66, cap. 5, p. 109–144, 2018.

MACEDONIA, J. M. Individuality in a contact call of the ringtailed lemur (*Lemur catta*). **American Journal of Primatology**, vol. 11(2), p. 163–179, 1986.

MACIEL, I. S. Vocalizações subaquáticas e fenômenos não lineares em focas antárticas. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Biologia Animal. Seropédica – RJ, 2016.

MAGIERA, A.; PENAR, W.; KLOCEK, C. Occurrence of nonlinear phenomena in Siberian and Neva Masquerade cats vocalisation. **Forum Acusticum**, Lyon: France. pp. 2767-2770, 2020.

MANN, D. A.; O'SHEA, T. J.; NOWACEK, D. P. Nonlinear dynamics in manatee vocalizations. **Marine Mammals Science**, v. 22, nº. 3, p. 548–555, 2006.

MARLER, P. Bird calls: Their potential for behavioral neurobiology. **Annals of the New York Academy of Science**, v. 1016, p. 31–44, 2004.

MATROSOVA, V. A.; VOLODIN, I. A.; VOLODINA, E. V. Short-Term and Long-Term Individuality in Speckled Ground Squirrel Alarm Calls. **Journal of Mammalogy**, ed. 90, vol. 1, p. 158-166, 2009.

McCOMB, K. E. Female choice for high roaring rates in red deer, *Cervus elaphus*. **Anim. Behav.**, v. 41, p. 79-88, 1991.

McCORDIC, J. A. M. Discrimination of age, sex, and individual identity using the upcall of the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). **Syracuse University ProQuest Dissertations Publishing**, Syracuse University: Syracuse. 2015.

McCORDIC, J. A. M., *et al.* Calls of North Atlantic right whales *Eubalaena glacialis* contain information on individual identity and age class. **Endangered species research**, v. 30, p. 157-169, 2016.

McCOWAN, B.; HOOPER, S. L. Individual acoustic variation in Belding's ground squirrel alarm chirps in the High Sierra Nevada. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 111, p. 1157–1160, 2002.

McGREGOR, P. K. **Signalling in territorial systems:** a context for individual identification, ranging and eavesdropping. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B.*, v. 340, p. 237-244, 1993.

MEDEIROS, G. A. **Da política da exploração ao discurso da preservação: usos e abusos da baleia-franca na história de Imbituba.** Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina em História. v. 1, nº. 1, 2007.

MEDVIN, M. B.; STODDARD, P. K.; BEECHER, M. D. Signals for parent-offspring recognition: a comparative analysis of the begging calls of cliff swallows and barn swallows. **Animal Behaviour**, v. 45, p. 841-850, 1993.

MERCADO III, E., et al. Sound production by singing humpback whales. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 127, n. 4, p. 2678–2691, 2010.

MUMM, C. A. S., URRUTIA, M. C., KNORNSCHILD, M. Vocal individuality in cohesion calls of giant otters, *Pteronura brasiliensis*. **Anim Behav.**, v. 88, p. 243–252, 2014.

NEMIROFF, L.; WHITEHEAD, H. Structural characteristics of pulsed calls of long-finned pilot whales *Globicephala melas*. **Bioacoustics**, v. 19, n. 1-2, p. 67-92, 2009.

NIELSEN, M. L., et al. Acoustic crypsis in southern right whale mother – calf pairs: infrequent, low-output calls to avoid predation? **J. Exp. Biol.**, 222,190-728, 2019

NIKOLSKII, A. A.; SUCHANOVA, M. D. Individual variability of alarm call in steppe marmot (*Marmota bobac* Mull., 1776). Pp. 169–181. In: Rumiantsev V. Yu. **Actual problems of marmots investigation.** ABF Publishing House, Moscow, Russia, 1994.

NOUSEK, A. E., et al. The influence of social affiliation on individual vocal signatures of northern resident killer whales (*Orcinus orca*). **Biol Lett**, v. 2, p. 481–484, 2006.

PAPALE, E., et al. Biphonic calls as signature whistles in a free-ranging bottlenose dolphin. **Bioacoustics**, v. 24, issue 3, p. 223-231, 2015.

PARKS, S. E., et al. Acoustic crypsis in communication by North Atlantic right whale mother–calf pairs on the calving grounds. **Biol. Lett.** 15, 20190485, 2019.

PATEL, E. R.; OWREN, M. J. Silky sifaka (*Propithecus candidus*) “zzuss” vocalizations: Sexual dimorphism, individuality, and function in the alarm call of a monomorphic lemur. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 132(3), 1799, 2012.

PATENAUDE, N J.; BAKER, C. S. Population status and habitat use of southern-right-whales in the sub-Antartic Auckland Island of New Zealand. **J. Cetacean Res. Manage Special Issue 2**, p. 111-116, 2001.

PAYNE, R., et al. External features in southern-right-whales (*Eubalaena australis*) and their use in identifying individuals. In Payne, R. (ed). **Communication and behavior of whales.** AAAS Selected Symposium 76. Westview Press, Inc., Boulder, CO, p. 371-445, 1983.

PAYNE, R. **Long term behavioral studies of the southern right whale (*Eubalaena australis*)**. Rep. int. whal. commn. Special issue 10, p. 161-168, 1986.

PETTITT, B.; BOURNE, G.; BEE, M. Quantitative acoustic analysis of the vocal repertoire of the golden rocket frog (*Anomaloglossus beebei*). **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, nº. 6, p. 4811-4820, 2012.

PHILLIPS, A. V.; STIRLING, I. Call individuality in mother and pup South American fur seals (*Arctocephalus australis*). **Marine mammal Science**. v.16, nº. 3, p. 594-616, 2000.

POLLARD, K. A. Causes and Consequences of Sociality: Time Allocation, Individuality, and the Evolution of Group Size in Mammals. **Tese de Doutorado**. University of California - Los Angeles, 2009.

PREISIG, J. Acoustic propagation considerations for underwater acoustic communication network development. **ACM Sigmobile computing and communications review**, v. 14, 2006.

RENAULT-BRAGA, E. P. Distribuição espaço-temporal da baleia-franca-austral – *Eubalaena australis* (Desmoulins 1822) – no Sul do Brasil. **Dissertação**. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande - RS, 2014.

RENAULT-BRAGA, E. P., et al. Area usage estimation and spatiotemporal variability in distribution patterns of southern-right-whales, *Eubalaena australis*, of southern Brazil. **Wiley marine ecology**, 2018.

RICE, D.W. Marine Mammals of the World: Systematics and Distribution. **Allen Press: The Society for Marine Mammalogy**. Lawrence, Kansas, 1998.

RICE, A. N. D.; LAND, B. R.; BASS, A. H. Nonlinear acoustic complexity in a fish “two-voice” system. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 278, p. 3762-3768, 2011.

RIEDE, T., et al. Nonlinear phenomena in the natural howling of a dog–wolf mix. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 108, issue 4, p. 1435-1442, 2000.

RIEDE, T.; OWREN, M.J.; ARCADI, A.C. Nonlinear acoustics in pant hoots of common chimpanzees (*Pan troglodytes*): frequency jumps, subharmonics, biphonation, and deterministic chaos. **American Journal of Primatology**, v. 64, n. 3, p. 277–291, 2004.

ROGERS, P. H.; COX, M. Underwater Sound as a Biological Stimulus. **Sensory Biology of Aquatic Animals**, eds J. Atema, R. R. Fay; A. N. Popper; W. N. Tavolga. New York, NY: Springer New York, 1988.

ROBB, M. P.; SAXMAN, J. H. **Acoustic observations in young children’s non-cry vocalizations**. Journal of the Acoustical Society of America, v. 83, p. 1876–1882, 1988.

ROSENBAUM, H. C., et al. World wide genetic differentiation of *Eubalaena*: questioning the number of right whale species. **Molecular ecology**, v. 9, 2000.

ROWNTREE, V. J. Feeding, distribution and reproductive behavior of cyamids (Crustacea: Amphipoda) living on humpback and right whales. Can. **J. Zool.**, v. 74, p. 103-109, 1996.

SAYIGH, L. S., et al. Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Anim Behav.**, v. 74, p. 1631–1642, 2007.

SCHAEFF, C. M., et al. Preliminary analysis of mitochondrial DNA variation within and between the right whale species *Eubalaena glacialis* and *Eubalaena australis*. **Rep. Int. Whal. Comm.** (Special Issue 13), p. 217-223, 1991.

SEYFARTH, R. M.; CHENEY, D. L.; MARLER, P. Monkey responses to 3 different alarm calls: evidence of predator classification and semantic communication. **Science** v. 210, p. 801–803, 1980.

SIRVIO, P.; MICHELSSON, K. Sound spectrographic cry analysis of normal and abnormal newborn infants. **Folia Phoniatica**, v. 28, p. 161–173, 1976.

SLOBODCHIKOFF, C. N., et al. Semantic information distinguishing individual predators in the alarm calls of Gunnison's prairie dogs. **Animal Behaviour**, v. 42, p. 713–719, 1991.

SOUSA-LIMA, R. S.; PAGLIA, A. P.; DA FONSECA, G. A. B. Signature information and individual recognition in the isolation calls of Amazonian manatees, *Trichechus inunguis* (Mammalia: Sirenia). **Animal behavior**. v. 63, p. 301-310, 2002.

SPORTELLI, J. J.; JONES, B. L.; RIDGWAY, S. H. Non-linear phenomena: a common acoustic feature of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) signature whistles. **Bioacoustics**, 2022.

TERRY, A. M. R.; PEAKE, T. M.; MCGREGOR, P. K. The role of vocal individuality in conservation. **Frontiers in Zoology**, v. 2, p. 1–16, 2005.

TIBBETTS, E. A.; DALE, J. Individual recognition: it is good to be different. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, p. 529-537, 2007.

TORMOSOV, D. D., et al. Soviet catches of Southern-right-whales *Eubalaena australis* 1951-1971. Biological data and conservation implications. **Biological Conservation**, v. 86, p. 185-197, 1998.

TOWNSEND, S. W.; MANSER, M. B. The function of nonlinear phenomena in meerkat alarm calls. **Biol. Letters**. v. 7, p. 47–49, 2010.

TYSON, R. B.; NOWACEK, D. P.; MILLER, P. J. O. Nonlinear phenomena in the vocalizations of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) and killer whales (*Orcinus orca*). **J. Acoustic. Soc. Am.**, v. 122, p. 1365-1373, 2007.

VOLODINA, E. V., *et al.* Biphonation may function to enhance individual recognition in the dhole, *Cuon alpinus*. **Ethology**, v. 112, p. 815–825, 2006.

WANKER, R.; FISCHER, J. Intra and interindividual variation in the contact calls of spectacled parrotlets (*Forpus conspicillatus*). **Behavior**, v. 138, p. 709–726, 2001.

WILDEN, I., *et al.* Subharmonics, biphonation, and deterministic chaos in mammal vocalization. **Bioacoustics**, v. 9, n^o. 3, p. 171–196, 1998.

WINTER, P. Social communication in the squirrel monkey. In: **The squirrel monkey**, New York academic press, p. 235-253, 1968.

3 ARE SOUTHERN-RIGHT-WHALES (*EUBALAENA AUSTRALIS*) CALLS INDIVIDUALLY DISTINCT?

ABSTRACT

Several animal sounds are individually distinct. Such individuality may be potentially adaptive in their usual contexts of emission. In this work we investigated the occurrence of individuality in calls of *Eubalaena australis*, as well as the occurrence of Nonlinear Phenomena (NLP) and its possible relation to individuality. We analyzed calls from 5 individuals recorded at Imbituba - SC, Brazil, in 2018 and 2019 (4 lactating females and 1 juvenile). We measured 14 acoustic variables in 3 call types (single pulse, double pulse and hybrid) and reduced them to 5 dimensions with Principal Component Analysis (PCA). These dimensions were used in a Linear Discriminant Analysis (LDA) to test for individuality. The redistribution test of the models had a mean hit rate of 91.34% in correctly attributing the calls to their emitters, thus corroborating the existence of individuality in the calls. Future studies are needed to test if the receivers also individually identify the emitters. It was not possible to include the NLP in the LDA, but we found all types of NLP in the individuals, with the juvenile being the animal that emitted more calls with NLP, suggesting that their presence may be related to the maturation of the vocal apparatus.

Key-words: Individuality; Nonlinear Phenomena; *Eubalaena australis*.

1 | INTRODUCTION

Acoustic communication is the main form of communication in marine mammals (Preisig, 2006), due to the limited transmission of light underwater and the low levels of attenuation and higher speed of sound in the water when compared to the terrestrial environment (Bass & Clark, 2003). However, communication only occurs effectively when there is detection and recognition of the acoustic event (Bass & Clark, 2003).

The different acoustic emissions of animals may show variation between individuals of a given species that, when allowing for individual recognition, may favor the intra-specific social relations in the contexts they are emitted (Aubin et al., 2007). Individuality takes place when the signal has high among-individual variability and low intra-individual variability (Terry et al., 2005), and vocal consistency within and among seasons (Choi et al. 2019). Such characteristics may show adaptive value

both for emitters and receivers (Tibbetts & Dale, 2007). The emitter, for example, may make its identity known in contexts which may bring benefits to him (Pollard, 2009), such as territory defense, partner choice and alert and contact situations. And the receiver can benefit from recognizing the emitter through individuality, because such recognition can give reliability to the call depending on who the emitter is, so the receiver can modulate his behavioral response according to the reliability and the type of information transmitted by him (Gosling, 1982; Tibbetts & Dale, 2007; Pollard, 2009).

Studies have shown that several cetaceans have individuality in their calls (Hafner et al., 1979; Nousek et al., 2006; Sayigh et al., 2007; Antunes et al., 2011; Kremers et al., 2012; McCordic et al., 2016). In North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, the long distance contact calls (upcall) of different individuals show sufficient variation among individuals to distinguish them by their calls (McCordic et al., 2016).

Besides the usual acoustic (temporal and spectral) traits measured in individuality studies, nonlinear phenomena (NLP) are frequently pointed out in the literature as a source of variation, including at the individual level (Papale et al., 2015). The NLP occurs in sound emissions as a result of perturbations in the typical rhythmic pattern of vibration of the sound producing organ, thus generating complex emissions (Fitch et al., 2002). Besides indicating individuality, the NLP may also transmit information on urgency or be related to the emotional state of the caller (Anikin et al., 2020).

Studies have already been published showing that *E. glacialis* calls both show individuality (McCordic et al., 2016) and contain NLP (Tyson et al., 2007; Root-Gutteridge et al., 2018). According to Tyson et al. (2007), the species show biphonation, side bands, frequency jumps, subharmonics and deterministic chaos. However, the lack of studies of both individuality and NLP in the two other species of the genus - *E. australis* and *E. japonica* - does not allow comparisons to be made in the genus as a whole. Thus, the objective of this work was to verify if individuality is encoded in the calls of *E. australis*, if their emissions show NLP and if these NLPs have any relation to individuality.

2 | METHODS

2.1 | Study site and recording procedures

We used recordings from 5 southern-right-whales, including 4 adult lactating females and 1 juvenile (sex-unknown). Recordings were carried out in July and August, in 2018 and 2019, in two different bays in Imbituba - SC, Brazil, location from the same single population of *E. australis* (2018 - Ribanceira Bay/Ibiraquera, 28° 11' 26.0952" S/48° 39' 42.318" O, 2019 Itapirubá Norte Beach, 28° 19' 48.3" S/48° 42' 30.8" O).

The whales had been individually identified through photo ID before the attachment of digital acoustic tags (DTAGs) model 13, versions 3 and 4 (DTAG-3 and 4), with suction cups (Johnson & Tyack, 2003) (Figure 1). These tags were equipped with a 3-axis accelerometer, a magnetometer, pressure and temperature sensors, and a hydrophone (Johnson & Tyack, 2003).



FIGURE 1: Suction cup DTAG attached to a carbon fiber pole, used to carry out the tagging of the southern right whales sampled in this study. Credits: Field team 2018.

Before tagging the whales, observers conducted behavioral observation of the animals within an area of 300m of radius for at least 10 minutes. The reproductive status of the animals was determined visually: lactating females were classified as such when seen with a significantly smaller animal ($\frac{1}{3}$ of the full length of the adult), presumably her calf. Such classification can be made with confidence, since there is no paternal care in this species (Parks et al., 2007). An animal is classified as juvenile when seen alone and with a body size larger than $\frac{1}{3}$ of the length of an adult, but smaller than an adult (Sironi, 2004).

During the time that the DTAG was attached to the whale, the equipment

recorded sounds continuously, with a sampling rate of 120 kHz in 2018 and 64 kHz in 2019. When the suction cups detached from the animals, it was necessary to recover it, using the VHF signal emitted by the DTAG from an antenna projected to remain above the water level to relocate the tag (Johnson & Tyack, 2003, methodology as in Dombroski et al., 2020).

The recordings of the 5 individuals totaled 22:46 h, from which 452 calls were retrieved from visual inspection of the spectrograms (Table 1). A 400 Hz monopolar Butterworth high-pass filter was used in all the recordings to reduce noise related to flow noise on the tag (Dombroski et al. 2020). The identification for each individual was made by adding “ea” for *Eubalaena australis*, the year of the recording “18 for 2018 or 19 for 2019”, the Julian day “202, 220 or 228” and a letter to indicate different individuals recorded on the same Julian day “a or b”.

TABLE 1 - Descriptive data of the recordings of each tagged individual.

Id.	Place	Reproductive state	Duration	Total of calls
ea18_202a	Ribanceira - SC	Lactating female	0 h 59 min	13
ea18_202b	Ribanceira - SC	Lactating female	6 h 27 min	48
ea18_228a	Ribanceira - SC	Juvenile (unknown sex)	8 h 18 min	333
ea19_220a	Itapirubá - SC	Lactating female	0 h 16 min	4
ea19_220b	Itapirubá - SC	Lactating female	6 h 46 min	54

2.2 | Data analysis

We made the analyses of the recordings in the software Raven Pro 1.6 (Cornell Laboratory of Ornithology) from spectrograms produced with a Hann window, with 512 point FFT for the measurements of temporal parameters and 1024 point FFT for frequency, both with 50% window overlap.

Then, we first classified the calls according to their visual and acoustic features according to the following categories, according to Clark (1982), Dombroski et al. (2016) and Dombroski et al. (2020): upcall, downcall, down-upcall, tonal constant, tonal variable, hybrid, pulsive, single pulse and double pulse. For the juvenile recordings, we selected for further analysis only the most intense calls, since it spent some time with at least one other individual. Thus, when we found more than

one animal calling in the recording, we assigned the stronger call (the one with more intense color in the spectrogram) to the focal animal and the less intense one to the non-focal. When two or more calls were superimposed we excluded them from the analysis.

Next, we selected for the individuality analyses only the clearer calls, retaining only those calls with a signal to noise ratio (SNR) ≥ 6 dB as in Dombroski et al. (2020). Then, for each remaining call we measured 14 acoustic variables (Table 2). We also visually inspected the spectrograms for the presence of NLP, classifying the occurrences in the following categories, according to a similar study conducted with the northern right whale *E. glacialis* (Tyson et al., 2007): frequency jump, subharmonic, biphonation, side bands and deterministic chaos.

2.3 | Statistical analysis

To reduce the number of variables and avoid correlation issues between them, we first conducted a principal component analysis (PCA) with all 14 variables (Table 2) for each call type with the “FactoMineR” package (Lê et al., 2008) in R 4.1.3 (R Core team, 2022). We then employed the first five dimensions of the PCA to carry out a Linear Discriminant Analysis (LDA) with the “MASS” package (Venables & Ripley, 2002) in R 4.1.3 (R Core team, 2022). The whole data set was used for both training and test of the models, with the resubstitution test.

TABLE 2: Variables measured for each call [definitions as in the Raven Pro 1.6 User Manual (Charif et al., 2010)].

Variables	Definition
Low frequency	The lower frequency bound of the selection (Hz)
High frequency	The upper frequency bound of the selection (Hz)
Delta time	The difference between Begin Time and End Time for the selection (seconds)
Delta frequency	The difference between the upper and lower frequency limits of the selection (Hz)
Center frequency	The frequency that divides the selection into two frequency intervals of equal energy (Hz)
Duration 90%	The difference between the 5% and 95% times (seconds)
Bandwidth 90%	The difference between the 5% and 95% frequencies (Hz)
Maximum frequency	The frequency at which Max Power/ Peak Power occurs within the selection (Hz)
Maximum time	The first time in the selection at which a spectrogram point with power equal to Max Power/ Peak Power occurs (seconds)
Maximum entropy	The maximum entropy calculated for a spectrogram slice within the selection bounds (bits)
Peak power density	The maximum power in the selection (dB)
Peak time	The first time in the selection at which a sample with amplitude equal to Peak Amplitude occurs (seconds)
Peak time relative	The first time in a selection at which a spectrogram bin with power density equal to Peak Power occurs
Average power density	Values of the spectrogram's power spectral density are summed, and the result is then divided by the number of time-frequency bins in the selection (dB)

Thus, we conducted both a PCA and a LDA for each call category with recordings from more than one individual. For each LDA we obtained linear discriminant function equations, which allow classifying each call according to its most probable emitter, based on their acoustic parameters (as reduced in the 5 PCA dimensions). Then we can calculate the percentage of success of the models *a posteriori* (assignment of the call to the correct animal) and compare it with the *a priori* percentage of success (probability of assigning the call to the correct animal by chance).

3 | RESULTS

The most frequent call type overall was the upcall, for the lactating females the single pulse was the most frequent and the only call identified in all individuals was the single pulse (Table 3). The lactating females produced fewer call types when compared to the juvenile tag recording (ea18_228a), which contained almost all call types described in the literature. Calling rate was also lower in the lactating females than in the juvenile, and the most commonly produced call type was single and double pulse calls.

TABLE 3 - Classification of the call types of each individual.

Id.	Total of calls	Upcall	Downcall	Down upcall	Total variable	Total constant	Pulsive	Single pulse	Double pulse	Hybrid
ea18_202a	13	0	1	0	0	0	0	2	0	10
ea18_202b	48	0	0	0	0	0	0	35	12	0
ea18_228a	333	165	14	3	0	40	56	12	0	43
ea19_220a	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0
ea19_220b	54	0	0	0	0	2	0	40	11	0

After applying the criteria of $\text{SNR} \geq 6$ dB for the 452 calls, we retained only 225 for further analysis. Individual ea19_220a did not have any remaining calls.

Out of the 225 calls, 123 showed some kind of NLP (54.66%). We found 160 NLP in total, most of the times alone and, on occasion, more than one in the same calls. We found biphonation in 41.26% of the calls, side bands in 35.62%, deterministic chaos in 14.62%, subharmonics in 8.12% and only one occurrence of frequency jump, 0.62% of the calls. Recordings from the individual ea18_228a, the juvenile, showed the larger amount of NLP in different call types (Figure 2, Table 4).

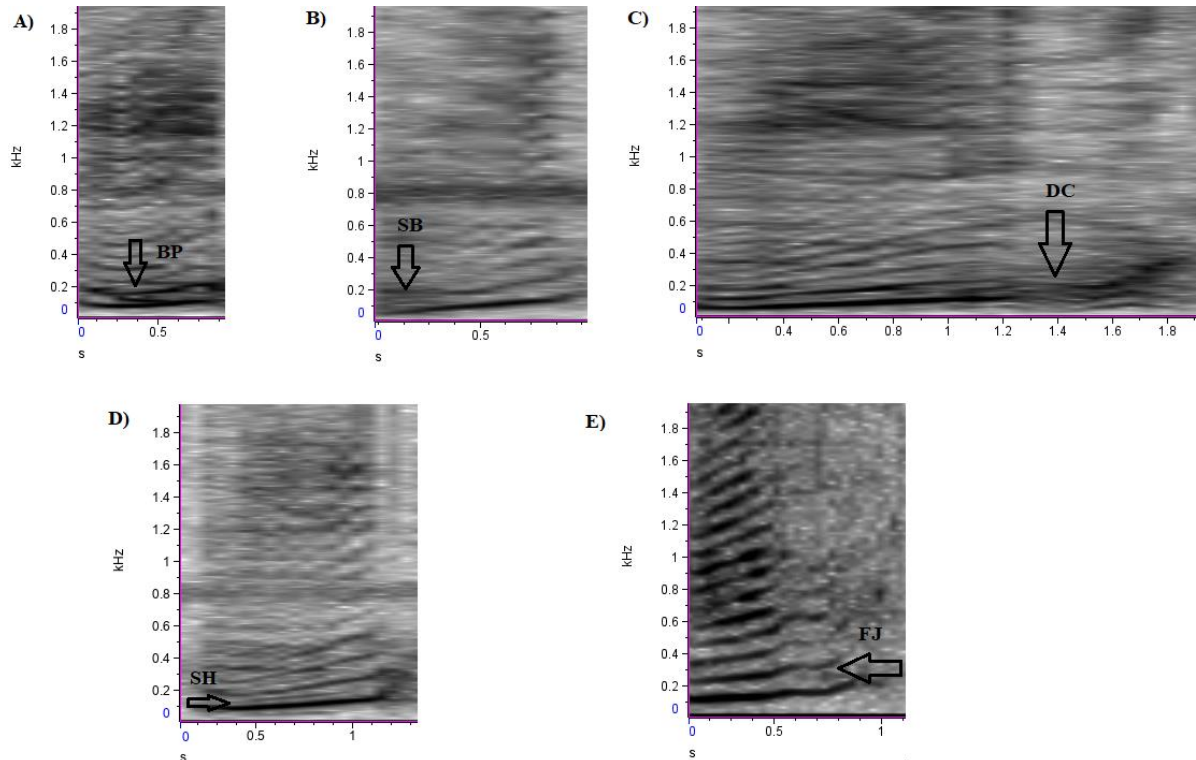


FIGURE 2: Examples of NLP found in the calls of the individual ea18_228a (arrows). Spectrogram produced in the software Raven Pro 1.6 with a 1024 points Hann window, 50% window overlap. A) BP - Biphonation, B) SD - Side Band, C) DC - Deterministic Chaos; D) SH – Subharmonic and E) FJ - Frequency Jump.

TABLE 4: NLP occurrence according to the emitter and call type.

Id.	Calls – SNR ≥ 6	Nº of calls	Call type	NLP found
ea18_202a	8	6	Hybrid	SB; BP
		1	Downcall	SB
		1	Single pulse	Not found
ea18_202b	37	28	Single pulse	Not found
		9	Double pulse	Not found
ea18_228a	145	79	Upcall	SB; BP; SH; DC; FJ
		6	Downcall	SB; BP; DC
		3	Down-upcall	SB
		19	Tonal constant	SB; BP; SH; DC
		2	Single pulse	Not found
		20	Pulsive	SB; BP; DC
		16	Hybrid	SB; BP; SH; DC
ea19_220a	0	0	Not found	Not found
ea19_220b	35	27	Single pulse	Not found
		6	Double pulse	Not found
		2	Total constant	SB

Legend: BP - Biphonation, SD - Side Band, DC - Deterministic Chaos; SH – Subharmonic and FJ - Frequency Jump.

We also found more than one NLP in the same call. The most common association was between side bands and biphonation, occurring in 15% of the calls with NLP. We found a maximum of 3 NLP in the same call (biphonation, deterministic chaos and side bands). Production of NLP was also highly variable among the individuals (Figure 3).

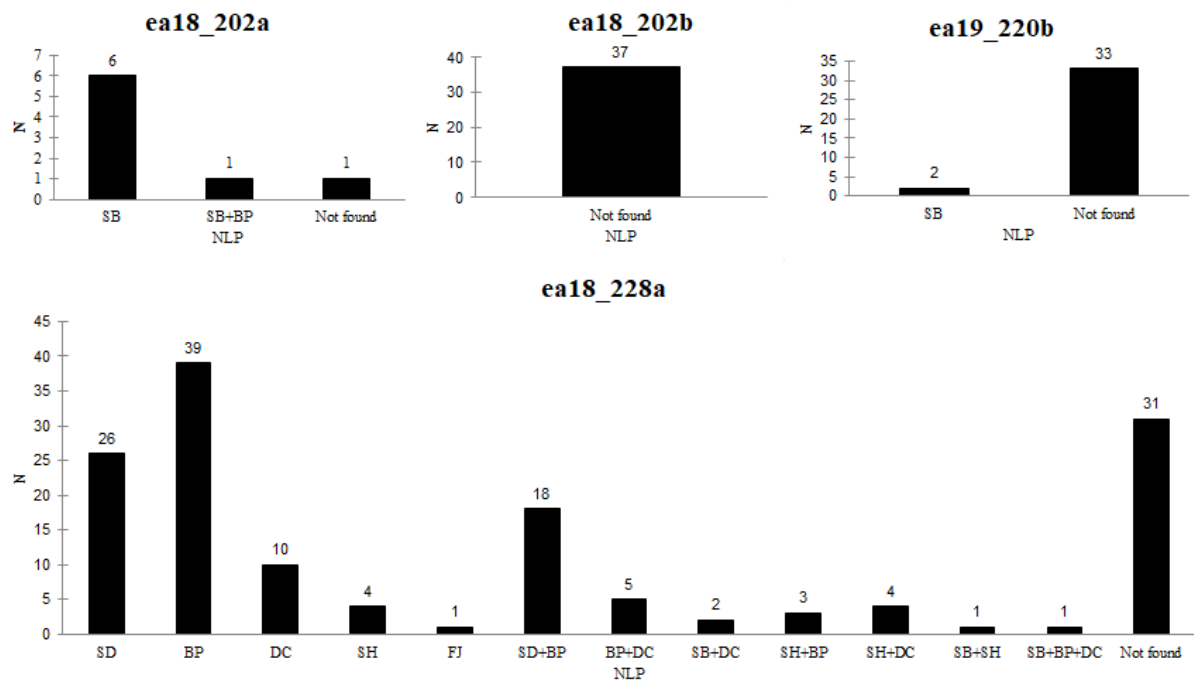


FIGURE 3: NLP in the 4 sampled individuals.

Since the NLP were detected in different call types among the different individuals [except for the hybrid calls which showed NLP in two animals (ea18_202a and ea18_228a)], we did not use them in the individuality analyses.

Given that only some call types were produced by more than one individual, we could carry out the PCA analyses for 3 call types only: single pulse (3 individuals); double pulse (2 individuals) and hybrid calls (2 individuals). The 14 variables employed in the PCA were reduced to 5 dimensions, which explain more than 75% of the data (Table 5):

TABLE 5: Percentage of the data that is explained by each PCA dimension (dim.), according to call type and the final percentage explained by the set of the 5 dimensions.

Call	Id.	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5	Total % explained
Single pulse	ea18_202b	27,58%	19,26%	13,63%	10,75%	7,92%	79,16%
	ea18_228a						
	ea19_220b						
Double pulse	ea18_202b	37%	22,62%	16,16%	12,02%	5,07%	93,00%
	ea19_220a						
Hybrid	ea18_202a	33,67%	28,75%	16,01%	7,08%	5,26%	90,77%
	ea18_228a						

The LDA models computed from these 5 PCA dimensions had a high a *posteriori* percentage of success when assigning the call to its emitter (Table 6), with an average success rate of 91,34%, much higher than the success rate by chance.

TABLE 6: Results of the LDA for each call type. % *a priori* classification: percentage of correctly classifying the call by chance alone; % model correct classification: a *posteriori* percentage of success when assigning the call to its emitter when using the LDA models.

Call	Id.	% priori classification	% model correct classification
Single pulse	ea18_202b	49,12%	80,70%
	ea18_228 ^a	3,50%	
	ea19_220b	47,36%	
Double pulse	ea18_202b	60%	93,33%
	ea19_220 ^a	40%	
Hybrid	ea18_202 ^a	27,27	100,00%
	ea18_228 ^a	72,72%	

4 | DISCUSSION

Our study showed that the statistical models were effective in detecting individuality in some *E. australis* calls, based on their acoustic parameters. Correct classification rates were above 80%, reaching 100% for the hybrid calls. Thus, the linear discriminant analysis (LDA) revealed the presence of individuality in the three call types that we analyzed: single pulse, double pulse and hybrid. Calls showing individuality have already been found in several taxa, including birds, terrestrial and aquatic mammals (Macedonia, 1986; Koda et al., 2008; McCordic et al., 2015; Favaro et al., 2016). Within the study genus, McCordic et al. (2015) have found individuality in the upcall of *Eubalaena glacialis*, a vocalization used for the maintenance of long-range contact (Clark, 1982). In our study, we were not able to test for individuality in this call type, since only the juvenile produced the call.

Hybrid calls, the type with the highest correct classification rate (100%), are known for their complexity and for showing both tonal and pulsed elements at the same time (Clark, 1982). The high complexity of this call may favor the occurrence of unique parameter values in the emissions of *E. australis*, possibly helping in the occurrence of individuality. In the analysis of the single pulse, the only three calls from the juvenile were not correctly assigned to it by the model, which may be due to this very low number of samples in our database.

Turning to functional issues, three different, non mutually exclusive, functional hypotheses/contexts of occurrence were proposed in the literature for single and double pulses: by-product of nursing, mother-calf communication and acoustic crypsis. The first of them proposes that these calls are by-products of the nursing context (Parks et al., 2019a), being, in fact, the sound produced by milk suction from the calf (Israel de Sá Maciel, pers. comm.). Our data do not support this idea, since the call was also recorded from the juvenile, which is neither lactating nor feeding on milk, and with no individual nearby that could be nursing.

The second hypothesis proposes that these calls are employed in mother-calf communication, since the call has been detected in females of *Eubalaena glacialis* with infants (Parks et al., 2019a), although they did not propose a specific function for them. The presence of individuality would be in accordance with this suggestion, since it would be adaptive for both parties to respond only to the appropriate partner (Balcombe & McCracken, 1992). Notwithstanding, the mere presence of individuality is not enough for it to be adaptive, since it is necessary to prove that other animals

are capable of recognizing the emitter. For example, Fischer (2004) showed that Barbary macaque (*Macaca sylvanus*) infants answer significantly more strongly to playbacks of their mother calls when compared to other females calls. A similar pattern was observed in cattle (*Bos taurus*), where cows answered faster to calls of their own calves than from other infants (Torre et al., 2016).

The third explanation suggests that mother-infant pairs produce low amplitude and short duration sounds to avoid being detected by another individual or predators (Parks et al., 2019b; Nielsen et al., 2019). Acoustic crypsis was also suggested for calls of *E. glacialis* (Parks et al., 2019b), *E. australis* in Australia (Nielsen et al., 2019) and *Megaptera novaeangliae* (Videsen et al., 2017), but our data does not allow this hypothesis to be tested.

If single and double pulses are employed in mother-calf communication (Parks et al., 2019a), and they do show individuality, as we have found, we hypothesize that these calls have the biological function of contact maintenance between the pair. Since it is important to for the mother to recognize its own calf, and vice-versa (Balcombe & McCracken, 1992), it would be beneficial for both parties to maintain contact through an individually distinctive call at short range. Saloma (2018) recorded a low amplitude and short duration call (as the single and double pulses of *E. australis* and *E. glacialis*) in the vocal repertoire of female humpback whales *Megaptera novaeangliae*. The author proposed that those calls could be used to maintain social contact and reinforce the mother-infant bond, and we extend this suggestion to the single and double pulses of right whales.

Individually distinctive contact calls may help in the mutual recognition of mother-infant pairs, reproductive partners, known neighbors vs. invaders (Galeotti & Pavan, 1991; Medvin et al., 1993; Karavanich & Atema, 1998; Fischer, 2004; Tibbetts & Dale, 2007). The presence of individuality in contact calls has adaptive value both for the emitter and the receiver of the call (Tibbetts & Dale, 2007), for example by finding the partner amidst a crowd, coordinating the approach of the correct partner, not wasting energy chasing a known neighbor, avoiding misdirecting parental investment towards an unrelated infant, among others.

Contact calls showing individuality have already been reported in several taxonomic groups. for example, pygmy marmosets (*Cebuella pygmaea*) use individual contact calls in situations where group members lose visual contact during movement (Snowdon & Cleveland, 1980), while Barbary macaque infants are able to

identify their mothers through contact calls (Fischer, 2004). The common dwarf mongoose (*Helogale parvula*) is able to extract information about the caller in situations of resource defense assuming a more vigilant posture when recognizing the call of a higher ranking animal, which has the potential to steal its food (Sharpe et al., 2013). In birds, the brown-throated parakeet *Aratinga pertinax* employs individual calls to recruit conspecifics and recognize social partners to share a food resource (Buhrman-Deever et al., 2008), while females of the green-rumped parrotlet (*Forpus passerinus*) recognize the call of their partner, helping them to discriminate them from other, potentially infanticidal males (Berg et al., 2011).

Leaving aside the debate on possible functions of each call, the occurrence of individuality in more than one call type, as we have shown here, has also important implications for conservation. For example, individuality allows carrying out population censuses (Terry et al., 2005) in feeding/breeding grounds of *Eubalaena australis* from data collected by passive acoustic monitoring [PAM, a kind of bioacoustical study in which automated recorders are deployed underwater to record sounds (Ward, 2020)], and not by visual data only. Getting data on marine mammals by visual monitoring is hindered by long submersion periods, but they can still be monitored acoustically in such situations, as we have done here (Marsh et al., 2018). Actually, in some situations, the acoustic record is the only proof that an animal has been in a given location (Terry et al., 2005). The technique of using PAM was already used with different populations of *E. australis*, such as in Uruguay (Tellechea & Norbis, 2012), New Zealand (Webster et al., 2019), South Georgia Island (Calderan et al., 2021) and Brazil (Dombroski et al., 2016). The occurrence of individuality may thus be used in the development of an algorithm for automated detection of sounds emitted by the species up to the individual level. Such recognition would allow quantifying the number of animals in a given area in a remote way (Clink & Klinck, 2020).

4.1 | Nonlinear phenomena (NLP) in *E. australis*

All 5 types of nonlinear phenomena were seen in 4 out of the 5 individuals of *E. australis* that we analyzed. Similarly, all types of NLP were found in *E. glacialis*, as well as the occurrence of more than one type of NLP in the same call (Tyson et al., 2007), something that we have also found. Data on the NLP can be looked at both from an individuality and functional perspective. As shown by the literature, studies

have suggested that NLP may help in the individual recognition (Papale et al., 2015). For example, calls with biphonation, side bands and sub-harmonics may indicate individuality in some species (Fitch et al., 2002).

Our data show a large difference in frequency of occurrence of NLP, with the juvenile showing many more instances of NLP than the adult females. A possible reason is that we mostly recorded the females emitting single and double pulses, which do not show NLP. Besides, juveniles are in a phase of development of the vocal apparatus, which may favor the occurrence of calls with NLP, which may reduce in frequency as the apparatus matures (Sportelli et al., 2022).

The difference in frequency we have found may be more related to the behavioral context than to age, however, as proposed by Root-Gutteridge et al. (2018). The juvenile in the present study had its higher calling rates when interacting with at least one other animal, what may be related to the emission of different call types than single and double pulses and, accordingly, the occurrence of biphonation and side bands would be related more to the context and the call types than to age per se.

As for the sub-harmonics, Riede and coworkers (1997) related them to sick voices, while Root-Gutteridge et al. (2018) found that they happen more often in adult animals and, when produced by juveniles, are found associated with deterministic chaos. In our study, only the juvenile showed this NLP, and it was produced in upcalls (not recorded in the females) and hybrid calls (rarely recorded in adults). Thus, it seems, as in the previous case, that it might be more related to call type and/or context than to age or sickness.

Root-Gutteridge et al. (2018) have shown that deterministic chaos has been reported more often in juveniles, decreasing with age, then increasing again at older ages. On the other hand, other authors have suggested that this NLP may be related to stress in mammals (Viljoen et al., 2015). Our data would be compatible with both suggestions, since only the juvenile produced the call, but, as above, it was registered in calls rarely or not recorded in adults at all. Thus, its occurrence is also compatible with a contextual explanation.

Future studies, with a larger sample of individuals from different age-sex classes and emitting different call types (preferably associated with behavioural data) need to be carried out both to allow NLP to be incorporated in individuality analyses, as well as to test for functional/contextual explanations.

5 | ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Marine Mammal Commission under Grant No. MMC17-230. Additional support was provided by Cetacean Society International and VIVA Baleias, golfinhos e cia. Logistical support was provided by APA Baleia Franca, APA Anhatomirim (ICMBio), Leandro Pescador, and the fishing community at Praia do Porto. We would like to thank Dr. Mark Johnson for providing tags. Also, the authors thank the volunteers who participated in tagging activities (in alphabetical order): Msc A. Martinelli, C. Morais, Msc D. de Souza, I. Carletti, Dr. I. Maciel, Dr. R. Sousa-Lima, Dr. R. Tardin, and Msc T. de Albernaz. We also thank Mario Manoel Rollo Júnior and Vinícius Xavier da Silva for the reviewers and helpful comments. We thank FAPEMIG for the master's scholarship. We conducted fieldwork under SISBIO Permit No. 60324 issued to J.R.G.D.

6 | REFERENCES

- Anikin, A., Pisanski, K., Reby, D. (2020). *Do nonlinear vocal phenomena signal negative valence or high emotion intensity?* R. Soc. Open Sci. 7: 201306.
- Antunes, R., Schulz, T., Geros, S., Whitehead, H., Gordon, J., Rendal, L. (2011) *Individually distinctive acoustic features in sperm whale codas.* Anim Behav 81: 723–730.
- Aubin, T., Mathevon, N., Staszewski, V., Boulinier, T. (2007). *Acoustic communication in the Kittiwake Rissa tridactyla: potential cues for sexual and individual signatures in long calls.* Polar Biology, v. 30, p.1027- 1033.
- Balcombe, J. P. & McCracken, G. F. (1992). *Vocal recognition in Mexican free-tailed bats: do pups recognize mothers?* Anim. Behav., v. 43, p. 79-87.
- Bass, A. H. & Clark, C. W. (2003). *The Physical Acoustics of Underwater Sound Communication.* In: Simmons, A.M., Fay, R.R., Popper, A.N. (eds) Acoustic Communication. Springer Handbook of Auditory Research, vol 16. Springer, New York, NY.
- Berg, K. S.; Delgado, S., Okawa, R. Beissinger, S. R., Bradbury, J. W. (2011). *Contact calls are used for individual mate recognition in free-ranging green-rumped parrotlets, Forpus passerinus.* Animal Behaviour, v. 81, pp. 241-248.
- Buhrman-Deever, S. C., Hobson, E. A.; Hobson, A. D. (2008). *Individual recognition and selective response to contact calls in foraging brown-throated conures, Aratinga pertinax.* Animal Behaviour, v. 76, pp. 1715-1725.
- Calderan, S. V., Leaper, R. V., Miller, B. S.; Andriolo, A., Buss, D. L., Carroll, E. L., Kennedy, A. S., Stepien, E. N.; Jackson, J. A. (2021), *Southern right whale vocalizations on foraging grounds in South Georgia.* JASA Express Lett. 1 (6).
- Charif, R. A, Waack, A. M., Strickman, L. M. (2010). *Raven Pro 1.4 User's Manual.* Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY.
- Choi, W., Lee, J-H., Sung, H-C. (2019). *A case study of male tawny owl (Strix aluco) vocalizations in South Korea: call feature, individuality, and the potential use for census.* Animal Cells and Systems, 23:2, 90-96.
- Clark, A. W. (1982). *The acoustic repertoire of the Southern Right Whale, a*

- quantitative analysis*. *Animal. Behav.*, v. 30, pp. 1060-1071.
- Clink, D. J. & Klinck, H. (2020). *Unsupervised acoustic classification of individual gibbon females and the implications for passive acoustic monitoring*. *Methods Ecol Evol*. 00:1–14.
- Dombroski, J. R. G., Parks, S. E., Groch, K. R., Flores, P. A. C. & Sousa-Lima, R. S. (2016) *Vocalizations produced by southern right whale (Eubalaena australis) mother-calf pairs in a calving ground off Brazil*. *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 140, p. 1850-1857.
- Dombroski, J. R. G., Parks, S. E., Flores, P. A. C. (2020). *Animal-borne tags provide insights into the acoustic communication of southern-right-whales (Eubalaena australis) on the calving grounds*. *The Journal of the Acoustical Society of America* 147, EL 498.
- Favaro, L., Gili, C., Da Rugna, C., Gnone, G., Fissore, C., Sanchez, D., McElligott, A. G., Gamba, M., Pessani, D. *Vocal individuality and species divergence in the contact calls of banded penguins*. *Behavioral Processes*, 2016.
- Fischer, J. (2004). *Emergence of individual recognition in young macaques*. *Animal Behaviour*, v. 67, pp. 655-661.
- Fitch, W. T., Neubauer, J., Herzel, H. (2002). *Calls out of chaos: The adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production*. *Animal Behavior*. v. 63, p. 407-418.
- Fitch, W. T., & Hauser, M. D. (2003). *Unpacking ‘honesty’: Vertebrate vocal production and the evolution of acoustic signals*. In A. M. Simmons, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *Acoustic communication* (pp. 65e137). New York, NY: Springer-Verlag.
- Galeotti, P. & Pavan, G. (1991). *Individual recognition of male Tawny owls (Strix aluco) using spectrograms of their territorial calls*. *Ethology Ecology & Evolution*, v.3: pp. 113-126.
- Gosling, L. M. (1982). *A reassessment of the function of scent marking in territories*. *Z Tierpsychol*, v. 60, pp. 89-118.
- Hafner, G.W., Hamilton, C. L., Steiner, W. W., Thompson, T. J., Winn, H. E. (1979). *Signature information in the song of the humpback whale*. *J Acoust Soc Am* 66: 1–6.
- Johnson, P. & Tyack, P. L. (2003). *A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild marine mammals to sound*. *IEEE J. Oceanic Eng.* Vol. 28, pp. 3–12.
- Karavanich, C. & Atema, J. (1998). *Individual recognition and memory in lobster dominance*. *Animal Behaviour*, v. 56, pp. 1553-1560.
- Koda, H., Shimooka, Y., Sugiura, H. *Effects of caller activity and habitat visibility on contact call rate of wild Japanese macaques (Macaca fuscata)*. *American Journal of Primatology*, v.70, p. 1055–1063, 2008.
- Kremers, D., Lemasson, A., Almunia, J., Wanker, R. (2012). *Vocal sharing and individual acoustic distinctiveness within a group of captive orcas (Orcinus orca)*. *J Comp Psychol*, v. 126: 433–445.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F. (2008). *FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis*. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18.
- Marsh, H.; Brooks, L.; Hagihara, R. (2018). *The challenge of monitoring coastal marine mammals*. In *Monitoring Threatened Species and Ecological Communities*. *Csiro Publishing*. Chapter 22, pp. 291-301.
- Macedonia, J. M. (1986). *Individuality in a contact call of the ringtailed lemur (Lemur catta)*. *American Journal of Primatology*, vol. 11(2), p. 163–179.

- McCordic, J. A. M. (2015). *Discrimination of age, sex, and individual identity using the upcall of the North Atlantic right whale (Eubalaena glacialis)*. Syracuse University ProQuest Dissertations Publishing.
- McCordic, J. A. M., Gutteridge, H. R., Cusano, D. A., Denes, S. L., Parks, S. E. (2016). *Calls of North Atlantic right whales Eubalaena glacialis contain information on individual identity and age class*. *Endangered species research*, vol. 30, pp. 157-169.
- Medvin, M. B., Stoddard, P. K., Beecher, M. D. (1993). *Signals for parent-offspring recognition: a comparative analysis of the begging calls of cliff swallows and barn swallows*. *Animal Behaviour*, v. 45, pp. 841-850.
- Nielsen, M. L., Bejder, L., Videsen, S. K., Christiansen, F., Madsen, P. T. (2019). *Acoustic crypsis in southern right whale mother – calf pairs: infrequent, low-output calls to avoid predation?*. *J. Exp. Biol.* 222, jeb190728.
- Nousek, A. E., Slater, P. J. B., Wang, C., Miller, P. J. O. (2006). *The influence of social affiliation on individual vocal signatures of northern resident killer whales (Orcinus orca)*. *Biol Lett* 2: 481–484.
- Papale, E., Buffa, G., Filiciotto, F., Maccarrone, V., Mazzola, S., Ceraulo, M., Giacomina, C., Buscaino, G. (2015). *Biphonic calls as signature whistles in a free-ranging bottlenose dolphin*. *Bioacoustics*, v. 24, issue 3, pp 223-231.
- Parks, S. E., Brown, M. W., Conger, L. A., Hamilton, P. K., Knowlton, S. D., Slay, C. K., Tyack, P. L. (2007). *Occurrence, composition, and potential functions of north atlantic right whale Eubalaena glacialis surface active groups*. *Marine mammal Science*, v. 23, pp. 868-887.
- Paeks, S. E., Cusano, D. A., Parjjs, S. M., Nowacek, D. P. (2019a). *North Atlantic right whale (Eubalaena glacialis) acoustic behavior on the calving grounds*. *J. Acoust. Soc. Am.* 146, EL15–EL21, 10S.
- Parks, S. E., Cusano, D. A., Parjjs, S. M., Nowacek, D. P. (2019b). *Acoustic crypsis in communication by North Atlantic right whale mother–calf pairs on the calving grounds*. *Biol. Lett.* 15, 20190485.
- Pollard, K. A. (2009). *Causes and Consequences of Sociality: Time Allocation, Individuality, and the Evolution of Group Size in Mammals*. PhD's thesis in University of California - Los Angeles.
- Preisig, J. (2006). *Acoustic propagation considerations for underwater acoustic communication network development*. *ACM Sigmobility computing and communications review*, v. 14.
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raven Pro 1.6. (2022) *Bioacoustics Research Program*. In: Raven Pro, Interactive Sound Analysis Software, version 1.6. The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Riede, T., Wilden, I., Tebrock, G. (1997). *Subharmonics, biphonations, and frequency jumps e Common components of mammal vocalization or indicators for disorders?*. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 62 € , 198-203.
- Root-Gutteridge, H., Cusano, D. A., Shiub, Y., Nowacek, D. P., Parjjs, S. M., Parks, S. E. (2018). *A lifetime of changing calls: North Atlantic right whales (Eubalaena glacialis) refine call production as they age*. *Animal Behaviour*, v. 137, pp. 21-34.
- Sayigh, L. S., Esch, H. C., Wells, R. S., Janik, V. M. (2007). *Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, Tursiops truncatus*. *Anim Behav* 74:

- 1631–1642.
- Saloma, A. (2018). *Humpback whales (Megaptera novaeangliae) mother-calf interactions*. Vertebrate Zoology. Université Paris Saclay (COMUE); Université d'Antananarivo.
- Sharpe, L. L., Hill, A., Cherry, M. I. (2013). *Individual recognition in a wild cooperative mammal using contact calls*. Animal Behaviour.
- Sironi, M.. (2004). *Behavior and social development of juvenile southern-right-whales (Eubalaena australis) and interspecific interactions at Peninsula Valdes, Argentina*. PhD's thesis in University of Wisconsin–Madison, 211 pp.
- Snowdon, C. T. & Cleveland, J. (1980). *Individual recognition of contact calls by pygmy marmosets*. Animal Behaviour, v. 28, pp. 717-727.
- Sportelli, J. J., Jones, B. L.; Ridgway, S. H. (2022). *Non-linear phenomena: a common acoustic feature of bottlenose dolphin (Tursiops truncatus) signature whistles*. Bioacoustics.
- Tibbetts, E. A. & Dale, J. (2007). *Individual recognition: it is good to be different*. Trends in Ecology & Evolution, v. 22, pp. 529-537.
- Tellechea, J.S. & Norbis, W. (2012). *A note on recordings of Southern-right-whales (Eubalaena australis) off the coast of Uruguay*. J. Cetacean Res. Manage, v. 12(3), pp. 361–364.
- Terry, A. M. R., Peake & T. M., McGregor, P. K. (2005). *The role of vocal individuality in conservation*. Frontiers in Zoology, 2, 1–16.
- Torre, M. P., Briefer, E. F., Ochicki, B. M. McElligott, A. G., Reader, T. (2016). *Mother-offspring recognition via contact calls in cattle, Bos taurus*. Animal Behaviour, v. 114, pp. 147-154.
- Tyson, R. B., Nowacek, D. P., Miller, P. J. O. (2007). *Nonlinear phenomena in the vocalizations of North Atlantic right whales (Eubalaena glacialis) and killer whales (Orcinus orca)*. J. Acoustic. Soc. Am. 122. P 1365-1373.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. 4^o edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Videsen, S. K. A., Bejder, L., Johnson, M., Madsen, P. T. (2017). *High suckling rates and acoustic crypsis of humpback whale neonates maximize potential for mother – calf energy transfer*. Funct. Ecol. 31, 1561 –1573.
- Viljoen, J. J., Ganswindt, A., Reynecke, C., Stoeger, A. S., Langbauer, W. R. (2015). *Vocal stress associated with a translocation of a family herd of African elephants (Loxodonta africana) in the Kruger National Park, South Africa*. Bioacoustics, 24(1), 1-12.
- Ward, R. N. (2020). *Southern right whale vocalizations, and the “spot” call in Australian waters: characteristics; spatial and temporal patterns; and a potential source - the southern right whale*. PhD's thesis in Curtin University.
- Webster, T. A., Parjis, S. M. V., Rayment, W. J., Dawson, S. M. (2019). *Temporal variation in the vocal behaviour of southern-right-whales in the Auckland Islands, New Zealand*. R. Soc. open sci. 6: 181487.

4 CONCLUSÃO GERAL

Concluimos que as variáveis utilizadas, bem como o modelo proposto, possuem grande potencial na detecção de individualidade nos chamados de *Eubalaena australis*. A individualidade pode implicar em melhora nos estudos acústicos, no monitoramento acústico passivo e na sua aplicação para estudos de censo da espécie. Mais estudos são necessários, com uma maior quantidade de animais, para compreender se os receptores conseguem perceber tais características que tornam o chamado único.

Não foi possível utilizar os FNL como uma variável no modelo estatístico de individualidade dada a sua pequena ocorrência, mas parece que eles predominam e comportam individualidade em animais mais jovens. Até onde investigamos, essa é a primeira descrição da presença de fenômenos não lineares em *Eubalaena australis*, sendo que todos os 5 fenômenos foram encontrados nas vocalizações.